

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(43) 国际公布日:

2003年7月17日(17.07.2003)

PCT

(10) 国际公布号:

WO 03/058642 A1

(51) 国际分类号: G21C 1/03
(21) 国际申请号: PCT/CN03/00006
(22) 国际申请日: 2003年1月6日(06.01.2003)
(25) 申请语言: 中文
(26) 公布语言: 中文
(30) 优先权:
02100022.0 2002年1月8日(08.01.2002) CN
02120704.6 2002年5月29日(29.05.2002) CN

(71) 申请人(对除美国以外的所有指定国): 中国核动力研究设计院(NUCLEAR POWER INSTITUT OF CHINA) [CN/CN]; 中国四川省成都市一环路南三段28号, Sichuan 610041 (CN).

(72) 发明人;及

(75) 发明人/申请人(仅对美国): 李玉嵩(LI, Yulun) [CN/CN]; 中国北京市西城区三里河三区10楼62门6号, Beijing 100045 (CN)。马福邦(MA, Fubang) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双榆树北路甲11楼1单元302, Beijing 100086 (CN)。吴英华(WU, Yinghua) [CN/CN]; 中国四川省成都市436信箱500分箱, Sichuan 610041 (CN)。

(74) 代理人: 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所(CCPIT PATENT AND TRADEMARK LAW OFFICE); 中国北京市阜成门外大街2号8层, Beijing 100037 (CN)。

(81) 指定国(国家): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

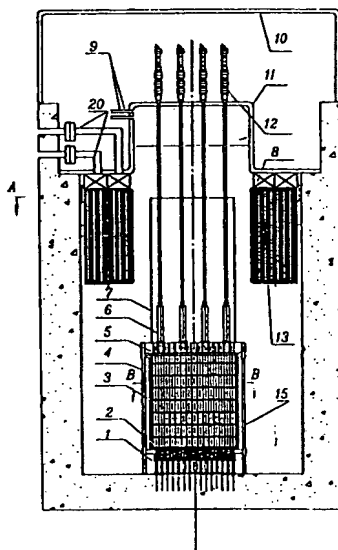
(84) 指定国(地区): ARIPO专利(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚专利(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲专利(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI专利(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

本国际公布:
— 包括国际检索报告。

所引用双字母代码和其它缩写符号, 请参考刊登在每期PCT公报期刊起始的“代码及缩写符号简要说明”。

(54) Title: A NUCLEAR PLANT SPENT FUEL LOW TEMPERATURE REACTOR

(54) 发明名称: 核电站乏燃料低温核反应堆



(57) Abstract: A nuclear plant spent fuel low-temperature reactor is provided, in which the reactor core is installed in core water container, the fuel of the reactor core is nuclear plant spent fuel; a sealing cover and / or gastight barrier is installed on the upper of core water container, and is composed at least one of gas barrier, a pressurizer is installed on coolant inlet pipe, the outlet water static pressure of the core is improved and the outlet pressure of the core is maintained, the under water loading passage is installed on the side of core water container, and connected with spent fuel storage pit. The nuclear fuel of the reactor is utilise nuclear plant spent fuel in the invention, the value of the uranium resource is improved; It is better in safety, economic competitiveness and environmental protection; That release the radioactive gas into environment can meet " No radioactive consequence" demand in operating condition and accident condition; The technology and equipment of loading is simplified, convenient operate; improve safety. The reactor can be used to desalination, low-temperature heating and isotope production.

[见续页]

WO 03/058642 A1

核电站乏燃料低温核反应堆

技术领域

本发明涉及一种核反应堆技术，具体地说是一种利用核电站乏燃料作为本堆的核燃料的低温核反应堆。

背景技术

核电站乏燃料是燃耗达到预期值但尚未达到限值、不能满足核电站运行要求、因而卸下的燃料。

核电站压水堆卸出的乏燃料组件一般还剩余约 0.9%-1.1% 的铀-235，新生成约 0.6% 的钚-239 和 0.15% 的钚-241 等可裂变物质，这是可利用的资源。

目前，世界上核电站乏燃料管理有二种基本政策，一是“一次性”通过政策，核电站的乏燃料不经后处理，只经过中间储存后直接进行最终处置；二是乏燃料后处理政策，经后处理把乏燃料中剩余的铀-235 和生成的钚-239 提取出来制成 MOX 元件，再用作核电站的燃料。“一次性”通过政策的乏燃料显然铀资源利用率不高；经后处理分离出的剩余铀-235 和生成的钚-239 再用作核电站的燃料，提高了铀资源利用率，但乏燃料后处理成本很高。

为了充分利用这些资源，加拿大、韩国和美国等正在联合开发一项技术，将压水堆乏燃料芯块重新加工制成 CANDU 燃料元件，在重水堆核电站里继续使用，即“DUPTC”计划。其技术工艺过程很复杂，成本很高，该计划正处于开发中。

此外，也有对乏燃料衰变热和 γ 射线利用的探讨。

核电站运行实践和燃料组件辐照考验表明，乏燃料燃耗没有达到限值，因此，只要对乏燃料组件进行适当的检查和评估，乏

燃料还是可以直接再利用的。本发明利用乏燃料，组成低参数供热反应堆的堆芯，来利用它的裂变能。

低温堆是指其堆芯由燃料组件、常温常压冷却剂和慢化剂组成的反应堆。常温常压冷却剂流经燃料组件将裂变产生的热量带出堆芯，通过热交换器为用户提供低温热水，主要利用水层作中子慢化和射线屏蔽。堆芯由燃料组件、堆芯上栅板、堆芯下栅板、控制棒及其驱动机构组成，燃料组件通过堆芯上、下栅板固定，控制棒从堆芯上部插入堆芯上、下栅板和燃料组件构成的栅格内，控制棒上端与其驱动机构连接，堆芯放在堆芯水容器内，堆芯水容器设有冷却剂入口管和出口管，冷却剂入口管和出口管通过管道与热交换器连接，通过冷却剂将堆芯热量带出，向热网供给无任何放射性的热水。

世界上设计与建造的低温堆可分成两种类型，一种为金属壳式加压型，如西德、俄罗斯设计建造的自然循环沸水堆，堆芯装在耐压壳内，其堆内结构与动力堆相近；另一种为承压预应力混凝土壳式，如瑞典设计的低压压水堆。在国内也有两种堆型，一为压壳式，一为池式。以上各种国内、外的低温堆都是利用未辐照过的“新鲜”核燃料。

利用核能供热是解决采暖与海水淡化的一个重要手段。尽管目前国内、外低温供热核反应堆概念设计种类很多，但受制于经济性和安全性还未被广泛接受，因此要寻求一种建造成本低又安全可靠的堆型，这是决定核能供热堆推广的关键。本发明能很好地解决低温供热堆的经济性和安全性问题。

发明内容

本发明的目的在于提供一种直接利用核电站乏燃料的低温、低压核反应堆，进行海水淡化、核供热以及兼顾同位素生产，具

有建造成本低、安全可靠的特点。

实现本发明目的的技术方案：一种核电站乏燃料低温核反应堆，堆芯由燃料组件、堆芯上、下栅板、控制棒及其驱动机构组成，燃料组件通过堆芯上、下栅板固定，控制棒从堆芯上部插入堆芯上、下栅板和燃料组件构成的栅格内，控制棒上端与其驱动机构连接，堆芯设在堆芯水容器内，堆芯水容器设有冷却剂入口管和出口管，冷却剂入口管和出口管通过管道与热交换器连接，堆芯的燃料组件是由核电站乏燃料组成。堆芯水容器的上部设有密封盖，密封盖内充有一定压力的气体，形成一加压气腔，构成一次气体屏障；此外，在堆芯水容器的上部还设有气密屏障，构成二次气体屏障。冷却剂入口管上设稳压器或大型水池以提高堆芯出口水静压维持堆芯出口压力。在堆芯水容器设有水下装卸料孔道，该孔道与乏燃料贮存水池相通，通过水下装卸料孔道换料取代了附加换料水层方案。在乏燃料贮存水池内设有余热冷却器，连接管道上设有电磁阀，构成非能动的余热导出系统。

核电站的乏燃料直接用作低温、低压核反应堆的核燃料，所构成的堆芯不仅可以临界，而且有相当的后备反应性，可满足运行要求。这些后备反应性主要来源于：

- 1.由核电站高参数变为低参数，温度下降可释放出正反应性；
- 2.功率密度降低（中子通量降低），平衡氙毒吸收反应性减小也可释放正反应性；
- 3.必要时在堆芯周围加适当的反射层以减少中子泄漏提高后备反应性；
- 4.由于乏燃料组成的堆芯含有“渣”，在运行中钷-149、钷-151吸收中子消毒释放出正反应性，使运行寿期得到延长。

堆芯装载核设计及热工计算表明，核电站乏燃料组成的低温、低压的核反应堆具有下述安全特性：

1.温度系数从冷态到热态的任何工况下均为负值。

2.组成的堆芯体积大，功率密度低，只是核电站功率密度的1/12~1/15。在额定功率下，燃料芯体最高温度只有400度左右，加上该堆的固有安全性以及采取非能动的安全设施，在严重事故下堆芯不会溶化。

3.由于本堆采取防止放射性气体向大气扩散的一道以上的气密屏障，再加上放射性气体的有效处置，满足法规规定的对环境的影响为“无放射性后果”水平。

本发明的效果如下：

1.将核电站乏燃料直接再用作核燃料的中子链式反应装置，提高了铀资源的利用价值，并且不产生新的乏燃料，同时由于只需对核电站卸出的燃料组件进行适当检查即可装堆，减少了燃料费，并使反应堆的投资和运行成本明显下降，具有很好的经济性和环保效果。

2.本堆具有功率密度低，采用非能动余热导出，在严重事故下堆芯不溶化；设有至少一道气体密封屏障，满足“无放射性后果”要求，是具有固有安全性能、安全性很高的一种堆型。

3.由于核电站乏燃料组成的堆芯，具有相当的后备反应性，完全满足核能供热要求，所产生的热能可用于海水淡化、城市地区集中供热以及适用于生产无载体放射性同位素。

4.由于技术上采取了特殊的水下装卸料孔道，取代了常用的装卸料系统，简化了装卸料工艺和设备，方便操作，提高了安全性。

附图概述

图 1.核电站乏燃料低温核反应堆的结构示意图（稳压器加压）。

图 2.核电站乏燃料低温核反应堆的结构示意图（气腔加压）

图中:

1.支承裙, 2.堆芯下栅板, 3.燃料组件, 4.堆芯容器, 5.堆芯上栅板, 6.控制棒及其驱动机构, 7.混凝土生物屏蔽, 8.堆芯水池, 9.冷却剂入口管, 10.冷却剂出口管, 11.密封盖, 12.二次气密屏障, 13.稳压器, 14.卸料孔道, 15.乏燃料贮存水池, 16.卸料小车, 17.加压气腔, 18.电磁阀, 19.余热冷却器。

最佳实施方式

实施例 1.

本发明以一座热功率为 200MW 的供热堆为例, 其结构如图 1 所示。用混凝土生物屏蔽层 7 围成的堆芯水容器 8 和乏燃料贮存水池 15, 堆芯水容器 8 的上部设有冷却剂入口管 9 和冷却剂出口管 10, 堆芯水容器 8 的侧面设有一水下装卸料孔道 14 与乏燃料贮存水池 15 相通, 反应堆运行时由密封塞塞上, 保证堆芯水容器与乏燃料储存水池之间隔离, 乏燃料贮存水池 15 中可放置乏燃料运输容器以及乏燃料贮存隔架, 并设有卸料小车 16, 卸料时孔道打开, 实现乏燃料组件的转运。混凝土生物屏蔽层 7 均用不锈钢覆面, 以确保水池不漏水。堆芯容器 4 设在堆芯水容器 8 的下方。堆芯由燃料组件 3、堆芯上栅板 5、堆芯下栅板 2、控制棒及其驱动机构 6 组成, 燃料组件 3 通过堆芯上、下栅板 5、2 安装固定, 控制棒从堆芯上部插入堆芯上、下栅板构成的栅格内, 控制棒上端与其驱动机构连接, 堆芯设在堆芯水容器 8 下的堆芯容器 4 内, 燃料组件是从核电站卸出的乏燃料组件, 燃料组件在堆芯的布置状态根据各组乏燃料组件燃耗深度的不同来确定, 当需后备反应性时, 将燃耗深的乏燃料组件布置在堆芯的中心, 燃耗浅的乏燃料组件布置在堆芯外围, 必要时在堆芯周围设石墨反射层以减少中子泄漏提高后备反应性。当需展平径向功率分布时, 则

乏燃料组件相反布置。堆芯的燃料组件插在堆芯下栅板 2 上，再由堆芯上栅板 5 压紧固定，防止燃料组件上下窜动。堆芯的下端由支撑裙 1 支撑。堆芯结构有两种，图 1 为稳压器静压式，冷却剂入口管 9 上连接一稳压器 13，将稳压器 13 放在较高位置，形成堆芯出口压力。堆芯水容器 8 下部的堆芯容器 4 内全部充满水，堆芯容器 4 及冷却回路构成一次边界，阻止放射性水外漏。驱动机构固定在堆芯水容器上部设有的密封盖 11 上，并于控制棒相连。在堆芯水容器 8 的顶部还设有一个气密屏障 12，堆芯水容器 8 的密封盖 11 与气密屏障 12 之间的区域抽负压，构成一道气体屏障，以保证放射性气体不向环境外泄。在乏燃料贮存水池内设有余热冷却器 19，连接管道上设有电磁阀 18。在外电源失电时，电磁阀 18 自动断电打开，余热冷却器 19 管内走热水，由乏燃料贮存水池中的水进行冷却，构成双自然循环换热，乏燃料贮存水池为最终热阱，温度过高时水蒸发带走热量，也可能动冷却。

实施例 2.

与实施例 1 不同在于，另一种堆芯结构为堆水池充气，利用气压形成堆芯出口压力，其结构如图 2 所示。在堆芯水容器 8 的上部设有状如帽行的一个气体密封盖 11，形成加压气腔 17，充有一定压力的空气或氮气或氦气，下部为水池的水位波动区，构成一次气体密封屏障。同样，在堆芯水容器 8 的顶部还设有一个气密屏障 12，构成二次气体屏障，堆芯水容器 8 上部的气体密封盖 11 与气密屏障 12 之间的区域抽负压，以保证放射性气体不向环境外泄。

为了消除密封盖内由水分解产生的氢、氧气体以及由燃料裂变产生的气态碘、放射性惰性气体，本发明设有气体循环回路（本图未标出），使氢、氧合成以及去除碘、惰性气体。

堆芯的冷却由冷却水经支撑裙、堆芯下栅板、燃料组件、堆

芯上栅板流出堆芯，通过堆芯出口管流向一次换热器、水泵再流回堆芯入口，构成强迫循环。一次水热量传给中间回路，再经过二次换热器传给三回路，该回路热水或汽可用于采暖或海水淡化。

本发明用于生产同位素时，可将靶件置于控制棒或辐照管内。

以秦山核电厂的乏燃料组成常温、常压（水池表面为 1 个大气压、平均温度低于 100°C ）池堆为例，采用 121 个乏燃料组件（与秦山核电厂堆芯组件数相同），轻水作为冷却剂和漫化剂，组成热功率为 200MW 反应堆堆芯为例，该中子链式反应装置的有效倍增因子约 1.05，该装置产生的热能、中子和 γ 可在相关领域应用。

（1）若为采暖目的设计该装置，可连续运行 600 满功率日，121 个乏燃料组件裂变产生的热量可供应 500 万平方米约 4 年；

（2）若为低温多效蒸馏法海水淡化提供低温蒸汽（ 72°C ），则可每日生产淡水（含盐量 5ppm 高质量）8 万吨，连续运动 600 满功能日，则 121 个乏燃料组件可总共生产 4800 万吨高质量淡水。

权 利 要 求

1. 一种核电站乏燃料低温核反应堆，其反应堆堆芯由燃料组件、堆芯上、下栅板、控制棒及其驱动机构组成，燃料组件通过堆芯上、下栅板固定，控制棒从堆芯上部插入堆芯上、下栅板和燃料组件构成的栅格内，控制棒上端与其驱动机构连接，堆芯设在堆芯水容器内，堆芯水容器设有冷却剂入口管和出口管，冷却剂入口管和出口管通过管道与热交换器连接，其特征在于所述反应堆堆芯的燃料是核电站乏燃料。
2. 如权利要求 1 所述的核电站乏燃料低温核反应堆，其特征在于堆芯水容器的上部设有密封盖和/或气密屏障，构成至少一道气体屏障。
3. 如权利要求 1 所述的核电站乏燃料低温核反应堆，其特征在于冷却剂入口管上设稳压器或大型水池，以提高堆芯出口水静压维持堆芯出口压力。
4. 如权利要求 1 所述的核电站乏燃料低温核反应堆，其特征在于在堆芯水容器设有水下装卸料孔道，该孔道与乏燃料贮存水池相通，通过水下装卸料孔道换料取代了附加换料水层方案。
5. 如权利要求 1 所述的核电站乏燃料低温核反应堆，其特征在于在乏燃料贮存水池内设有余热冷却器，连接管道上设有电磁阀，构成非能动的余热导出系统。